

**Die Bedeutung der Oberflächenbearbeitung
des Goldes für die Haftintensität des
Phosphatzementes
(mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle im Text)**

Erich Wilhelm Hoppe

1961



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555223_0067

AUS DER KONSERVIERENDEN ABTEILUNG
Vorstand : Prof. Dr. Dr. M. Schug-Kösters
DER KLINIK FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERKRANKHEITEN
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Direktor : Prof. Dr. Dr. J. Heiss

**Die Bedeutung der Oberflächenbearbeitung
des Goldes für die Haftintensität des
Phosphatzementes
(mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle im Text)**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Erich Wilhelm Hoppe
aus München

München 1961

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Professor Dr. Dr. M. SCHUG-KÖSTERS
Dekan: Professor Dr. Dr. H. EYER

Tag der mündlichen Prüfung: 21.2.1961



MEINEN LIEBEN ELTERN
IN HERZLICHER DANKBARKEIT GEWIDMET

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung

Problemstellung und Literatur

Eigene Versuchsanordnung

Apparatur

Material

Versuchsbeschreibung

Eigene Ergebnisse

Besprechung der Versuchsergebnisse

Diskussion

Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

Anhang

Lebenslauf

E I N L E I T U N G

Die Zemente gehören zu den wichtigsten Materialien in der zahnärztlichen Praxis.

Im Jahre 1832 tauchte zum ersten Mal eine Mischungsformel auf, die OSTERMANN (12) für die Verwendung eines Zementes in der Zahnheilkunde angegeben hatte: "Man nehme 13 Teile feinen Kalkstaub und 12 Teile wasserfreie Phosphorsäure. Diese Verbindung wird während der Mischung feucht gemacht und muß in diesem Zustand in die Kavität der Zähne eingefüllt werden." An die Stelle des Kalkstaubes trat späterhin das Zinkoxydchlorid, so wie es der französische Chemiker SORELL (12) 1855 für Zahnzemente verarbeitete. PEIRCE (12), der 1869 die Phosphorsäure mit pulverisiertem Zinkoxyd für die Zementherstellung verwendete, ebnete damit den Weg zur Entwicklung der zahnähnlicheren Silikatzeemente.

Die Zinkoxydphosphatzemente bestehen aus der flüssigen Komponente Orthophosphorsäure, die geringe Zusätze von Aluminium, Zink und Magnesium enthält und aus dem pulverisierten Gemenge von Zinkoxyd und Magnesiumoxyd, mit Spuren von Siliziumdioxid, Aluminiumtrioxid und Wismuttrioxid (FALCK, 4).

Die Silikatzeemente unterscheiden sich von den Zinkoxydphosphatzementen hauptsächlich durch die Zusammensetzung des Pulvers, das in erster Linie aus Siliziumdioxid und Aluminiumtrioxid besteht.

Sie zeichnen sich besonders durch ihre zahnähnliche Farbe aus, wobei sie aber auf der anderen Seite durch ihre schlechte Kantenfestigkeit und besonders durch ihre Pulpenschädlichkeit Nachteile aufweisen.

Der Zinkoxydphosphatzement tritt dem Praktiker täglich in vielen Anwendungsformen entgegen. Als Unterfüllung, zum Schutze der Pulpa, zum Einsetzen von Gold- und Kunststoffüllungen in der konservierenden Behandlung, in der prothetischen zum Fixieren von Kronen und Brückenankern. Er weist eine unbelebte, opake Oberfläche auf, ist spröde und nicht kantenfest, unterliegt im Munde einer langsamen chemischen Auflösung und ist empfindlich gegen Feuchtigkeit. Vorzügliches leisten die Zinkoxydphosphatzemente jedoch als Schutz- und Isoliermaterial für die Pulpa und als Befestigungsmittel für konservierende und prothetische Ersatz- und Verankerungsteile.

Ich wende mich in meiner nun folgenden Arbeit der Frage zu, wie die Oberfläche des Goldes beschaffen sein muß, um mit Zinkoxydphosphatzement die höchsten Haftwerte zu ergeben.

Diese Frage ist z. B. beim Goldinlay von Interesse, wobei jedoch betont wird, daß uns der Zinkoxydphosphatzement nicht von einer exakten Kavitätenpräparation entbindet, sondern diese die Grundvoraussetzung für einen guten Halt des Inlays ist, genauso wie die richtige Verarbeitungsweise des Zementes.

PROBLEMSTELLUNG UND LITERATUR

Die Versuche, die sich mit der Prüfung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Zementen, Dentin, Metall oder Kunststoff im einzelnen und besonders in Verbindung miteinander befassen, gehören mit zu den schwierigsten der zahnärztlichen Werkstoffkunde überhaupt (KNAPPWOST, 10).

Das Problem liegt in der Hauptsache darin, bei jedem Versuch von genau gleichen Voraussetzungen auszugehen, d. h. eine Reihe von konstanten Größen bei jedem Versuch beizubehalten. Eine einzige Größe verändert man, denn nur durch ihren Wechsel soll man am Resultat die unbekannte Größe als einen in bestimmtem Abhängigkeitsverhältnis zur veränderlichen Größe stehenden Wert erkennen können.

In der Literatur stößt man immer wieder auf das Problem der Reproduzierbarkeit der Resultate. So empfiehlt RAWITZER (13), die Unzulänglichkeiten in der Beibehaltung der gleichen Versuchsvoraussetzungen und die daraus resultierenden Streuungen im Endergebnis, durch Massenprüfungen zu kompensieren. Er geht also von der Einzelprüfung genauso ab, wie WEIKART (17), der es als zweckmäßig erachtet, bei Vergleichsprüfungen größere Versuchsreihen durchzuführen und Häufigkeitskurven aufzustellen. WEIKART kommt zu der Überzeugung, daß die Hauptquelle von Fehlern in erster Linie in der Anmischtechnik des Zementes zu suchen ist. Um mit möglichst konstanten Werten in jeden Versuch zu gehen, stellt er eine Reihe von allgemeinen Forderungen auf, wie z. B. gleiches Mischungsverhältnis von Pulver und Flüssigkeit, gleiche Anrührtechnik, gleiche Anmisch- und Verarbeitungszeit, gleiche Temperatur beim Anmischen durch eine im Wasserbad von 20°C stehende Glasplatte und gleiche relative Luftfeuchtigkeit (55 % - 75 %). Bei der Anrührtechnik, wie oben erwähnt, geht er bis in jede Einzelheit: "Zu 0,5 ccm Flüssigkeit wird in 10 sec 1/16 der notwendigen Pulvermenge verrieben, die gleiche Menge folgt in den nächsten 10 sec, danach wird in einem ebenso langen Zeitraum lediglich 1/8 zugegeben, das wiederum von 1/4 der Gesamtmenge, das in 15 sec unterzumischen ist, gefolgt wird. Eine nochmalige Beimengung von 1/4 im Zeitraum von 30 sec beschließt den Prozeß mit einer summarischen Anrührzeit von 1 1/2 min." (n. GRUMMT, jun., 6). Damit hat WEIKART sehr exakte und brauchbare Anweisungen für Prüfungszwecke aufgestellt.

Weitere Probleme liegen darin, daß man sich ganz allgemein über den genauen Verlauf des Zementabbindevorganges noch nicht im Klaren ist. Beim bereits abgebundenen Zement haben wir es mit einem Konglomerat von mechanischem Gemenge und chemischen Verbindungen neben- und miteinander zu tun. Es spielen also sowohl physikalische als auch chemische Vorgänge eine Rolle. Über

den Begriff des Zusammenhalts zwischen heterogenen Stoffen und dessen Erklärung herrschen auch verschiedene Ansichten. Begriffe wie Adhäsion, Haftintensität, Klebekraft, Verzahnung, Haftfestigkeit und Klebrigkeit finden ihren Niederschlag in der Literatur.

Der klebrige Charakter des noch nicht erhärteten Zementes gab vielen, die sich mit dem Problem auseinandersetzten, Anlaß, auch noch nach der Erhärtung des Zementes von einer Klebekraft zu sprechen, so wie es REBEL (14) tat, der sie auch als Adhäsion bezeichnete. Gegen diese Ansicht sprechen sich insbesondere WEIKART (17), SPANNER (16) und FALCK (4) aus. Sie fragten sich: Was ist die Erklärung für den Zusammenhalt zweier Körper durch den Zement? Sind es die oberflächenaktiven molekularen Kräfte zweier sich sehr nahe liegender, verschiedener Stoffe, die Adhäsion - ein sehr interessantes Problem der modernen physikalischen Chemie - oder wird der Zusammenhalt durch mechanische Verankerung erreicht, durch eine Art Verzahnung?

Die Ansicht REBELS (14), daß es sich um die Adhäsionskräfte handelt, teilen HATTEMER und KÜBEL (7) in ihren Ausführungen. Ihnen gegenüber vertritt WEIKART (17) die Meinung, daß es sich da um rein mechanische Verankerungen handelt. Er bezieht sich auf die Ausführungen von FALCK (4). Dieser schreibt: "Selbstverständlich klebt ein plastischer Zement, aber das bedeutet nichts für seine Haftintensität, denn mit der ist es vorbei, sobald der Zement hart ist." Und weiter: "Die Haftintensität hängt ab von der Natur der Fläche und den Unregelmäßigkeiten in der Einlage (z. B. Gußfüllungen) und den hohlen Wänden (z. B. Dentin)." Wird der Zement auf eine raue Fläche aufgebracht, "so bleibt er nach der Erstarrung mehr oder weniger fest haften, je nachdem wie weit er vor der Abbindung in die winzigen Unebenheiten der rauhen Oberfläche eingedrungen ist und sich nach der Abbindung eventuell darin noch fester verkeilt hat." Er bezeichnet das als Verzahnung.

Wahrscheinlich meint KUNERT (11) dasselbe, wenn er sagt, daß die Haftfestigkeit durch die Expansion, die beim Erhärten des Zementes auftritt, bewirkt wird.

Auch SPANNER (16) sagt, daß der Zement nur solange als klebrig bezeichnet werden kann, bis er auskristallisiert. Dann verkeilt er sich in die feinen Unebenheiten, in die er im plastischen Zustand eingedrungen war und bewirkt so den Widerstand, der dem Auseinanderrücken von Zement und Dentin oder Metall entgegenwirkt. Er nennt das Haftfestigkeit und sagt: "Für die Haftfestigkeit des Zementes an Metall oder an einem anderen Material ist in erster Linie die Eigenfestigkeit des Zementes maßgebend. Ausschlaggebende Bedeutung hat ferner die Benetzbarkeit des betreffenden Materials und seine Oberflächenbeschaffenheit."

Was die Eigenfestigkeit des Zementes in Bezug auf die Haftintensität betrifft, haben sich HATTEMER und KÜBEL (7) in ihrer Widerrede gegen die Schmirgelleinwandmethode von WEIKART (17) (s. u.) dahingehend geäußert, daß sie sagten, der Abriß beim Zerreißen von Schmirgel und Zement erfolge größtenteils im Innern des Zementes. Auf dieses Argument komme ich in meinem kritischen Bericht noch zurück. WEIKART (17) prüfte die Haftintensität des Zink-

oxydphosphatzementes mit Hilfe der Schmirgelleinwand, die er in Streifen von 60 x 10 mm schneidet und auf eine plane Unterlage legt. Darauf setzte er eine zweiteilige Form aus rostfreiem Stahl, in die der Zement gefüllt wurde. Nach 30 min wurde die Form entfernt, so daß der Zementwürfel frei auf dem Schmirgelleinen aufsaß. Sodann legte er ein 5 mm² großes Eisenstück an die Unterseite des Schmirgelleinen unterhalb des Zementwürfels und bog das Schmirgelleinen um die Kanten des Eisenstücks herum, so daß es in eine Haltevorrichtung gespannt werden konnte.

DRUM (3), als Leiter des Dental-Test-Instituts bestreitet nicht, daß die Adhäsion einen gewissen Anteil an der Haftintensität hat, erklärt sie jedoch größtenteils durch die mechanische Verankerung, des in weichem Zustand in die feinsten Vertiefungen des Körpers eingedrungenen Zementes. Dieser Ansicht ist auch das National Bureau of Standards.

Die Ursachen, die einem Auseinanderrücken von Zement und einem ihm angekitteten Körper entgegenwirken, sind also hauptsächlich in der mechanischen Verankerung, am wenigsten in der Adhäsionswirkung zu suchen. Tritt jedoch der Zement mit dem Dentin in Verbindung, einer organischen Substanz, die mit ihren Kalksalzen gegen die freie Phosphorsäure des Zementes nicht indifferent ist, so zeigt sich eine dritte Art der Verbindung.

IDOLSKI (8) untersuchte in einer sehr interessanten Arbeit diese Zusammenhänge und fand heraus, daß hier die Phosphorsäure mit den Kalksalzen des Dentins chemisch reagiert und einen sogenannten Zwischenkörper aufbaut, der als "Kitt zwischen Zahnbein und Zement wirkt, indem er in beide Medien hineinwächst."

Ich möchte im folgenden auf die Arbeiten derjenigen Autoren eingehen, die Versuche über die Haftfestigkeit zwischen Zement und Stoffen anstellten, die der Phosphorsäure gegenüber indifferent sind, nicht also dem Dentin. Dabei entfällt der sehr schwer zu bestimmende Faktor, den die Dentinoberfläche als Prüffläche mit ihrer Variabilität in Bezug auf die Dentinkanälchen und ihre Lage zur Oberflächenebene und damit ihrer wechselnden Dichte ergab. Denn will man eine unbekannte Größe in ihrer Abhängigkeit zu einer variablen, z. B. Veränderung der Säuremenge (RUFF, 15), bestimmen, so müßte die Struktur der Prüffläche des Dentins, auf die man den Zement aufbringt, als konstante Größe bei jedem Versuch absolut gleich geartet sein. Das kann sie aber als organisches Gebilde nicht sein.

RUFF (15) benutzte bei ihren Untersuchungen über die Abhängigkeit der Haftintensität von den variablen Faktoren Säuremenge und Abbindezeit, angerauchte Glasstöpsel. Sie erreichte die höchsten Haftwerte nach 3 Stunden mit einem Säurezusatz von 0,14 - 0,21 ccm Orthophosphorsäure zu 1/2 g Pulver.

FISCHER und BARTRAM (1), die Vergleichsversuche zwischen der Haftfestigkeit des Zementes an Dentin und der an Kunststoffen anstellten, kamen zu dem Ergebnis, daß am Dentin die besseren Haftwerte zu erzielen waren. Das

mag mit der Entstehung des chemischen Zwischenkörpers (IDOLSKI, 8) zu erklären sein, der eine beträchtliche Steigerung der Haftwerte herbeiführt, während der Kunststoff der Säure gegenüber indifferent ist und da nur die mechanische Verankerung wirksam werden kann.

GRUMMT, jun. (6) führte vergleichende Versuche zwischen einzelnen Zementen und Kunststoffsixiermitteln durch, indem er Vollgußkronen von künstlichen Zahnstümpfen aus Metall abriß. Der Kunststoff "Resinzement" ergab die höchsten Haftwerte, die weit über denen der besten Zinkoxydphosphatzemente lagen.

Wenn RUFF (15) sagt, daß sie die höchsten Haftwerte nach 3 Stunden Erhärtungszeit erhielt, so genügte SPANNER (16) schon eine Stunde, weil er behauptete, daß die Haftfestigkeit danach nicht mehr ansteigt. Er bettet Drahtstifte senkrecht in Zement ein und prüfte die Haftintensität in Beziehung zur Oberfläche des Drahtes und zu seinem Durchmesser. Die Werte waren folgende:

glatte Oberfläche, wie bei gezogenem Draht	0,369 kg/mm ²
geätzte Oberfläche	0,409 kg/mm ²
gerauhte Oberfläche	0,435 kg/mm ²

Es zeigte sich, daß auch eine scheinbar glatte Oberfläche noch genügend Retentionen für die Zementverzahnung aufweist. Bei Zunahme des Stiftdurchmessers und der daraus hervorgehenden Vergrößerung der Haftfläche, wuchs die Haftintensität, jedoch nicht proportional.

EIGENE VERSUCHSANORDNUNG

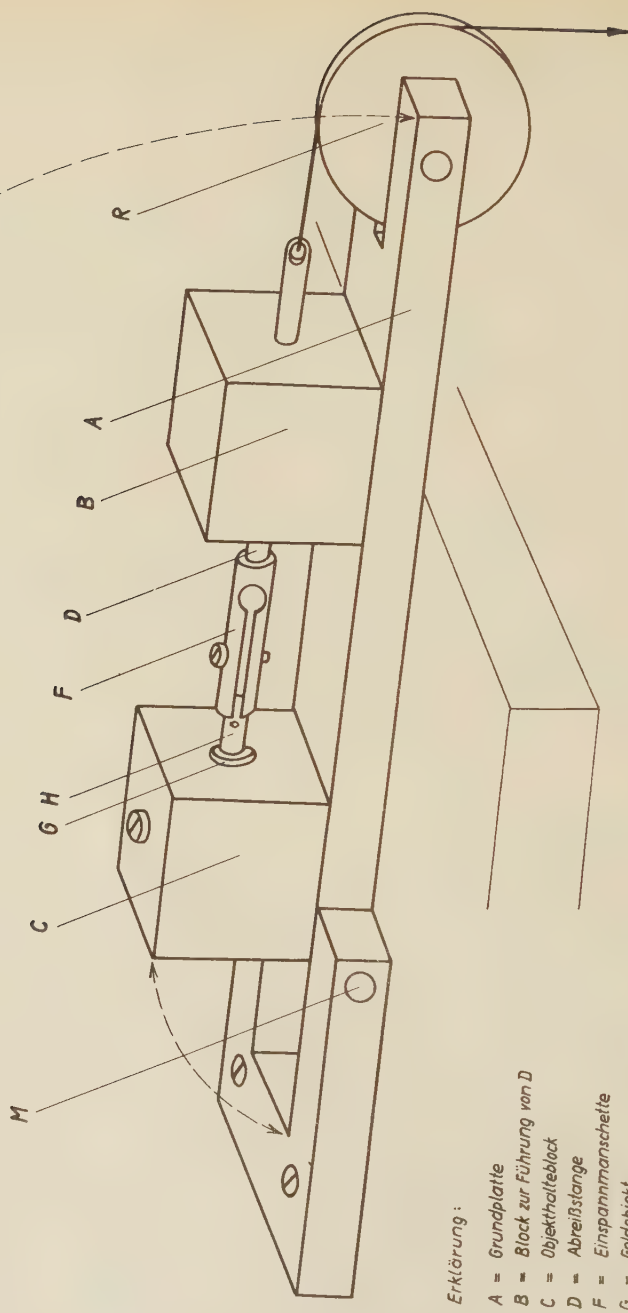
Abreibapparat:

Die Konstruktion der Abreibapparat entstand aus der Überlegung, allgemeinen Forderungen an exakte physikalische Versuche soweit wie möglich Rechnung zu tragen. In diesem Falle, zur Prüfung der Haftintensität zwischen einer in verschiedenster Art und Weise behandelten Goldoberfläche und dem Zinkoxydphosphatzement, ist es von ausschlaggebender Bedeutung, die beiden aneinandergefügt Materialien so voneinander abzureißen, daß außer den Zugkräften keine Scher- und Hebelkräfte entstehen, die das Ergebnis der Messungen ungenau werden lassen. Diese Forderung erfüllt die Apparat, die wie folgt beschrieben wird:

Die Abreibstange D wird in einer 1/100 mm genauen Bohrung des Blocks B geführt. Die Goldfläche G als Prüfobjekt wird durch die an ihr angebrachte Stellschraube im Block C gehalten. Die auf Abreibstange D eingespannte Kupferhülse H steht mit ihrer Stirnseite senkrecht zur Goldfläche. Durch diese Vorkehrungen erreicht man, daß der Zement lotrecht von der zu prüfenden Fläche abgerissen wird.

Die Reibung, die zwischen den Flächen innerhalb der Bohrung in Block B und der Abreibstange D entsteht, ist bei jedem Versuch dieselbe. Sie spielt also im Gesamtbild der Versuche keine Rolle und kann darüberhinaus durch gute Ölung reduziert werden.

Abb. 1 : Abreibapparat



Erklärung :

- A = Grundplatte
- B = Block zur Führung von D
- C = Objektthalteblock
- D = Abreibslange
- F = Einspannmanschette
- G = Goldobjekt
- H = Kupferhülse
- M = Kippachse
- R = Rolle

Es wurde nun bei den Versuchsreihen darauf geachtet, daß die veränderliche Größe nur am Prüfobjekt, d. h. an der Goldoberfläche zu finden war. Jede Versuchsreihe wurde mit 9 konstanten Größen durchgeführt, um stets unter den gleichen Voraussetzungen zu arbeiten:

1. Gleiches Fabrikat des Zementes,
2. gleiches Mischungsverhältnis zwischen Säure und Pulver,
3. gleiche Anrührtechnik,
4. gleiche Temperatur während des Anrührens und der Erhärtung,
5. gleiche Anrührzeit,
6. gleiche Abbindezeit bis zum Abreißen,
7. gleiche Prüfflächengröße,
8. gleicher Druck beim Aufbringen des Zementes,
9. gleiche Oberflächenbearbeitung an Prüfstücken innerhalb derselben Versuchsreihe.

Es wurde versucht, diese Konstanten bei allen Versuchen beizubehalten. Jede Versuchsreihe unterschied sich von der anderen nur in der Beschaffenheit der Goldoberfläche und zwar:

1. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig).
2. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig), Absprühen mit Wasserdruckstrahl.
3. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig), Anätzung mit konzentriertem Königswasser, 5 min lang.
4. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Heat-less-Stein, (grobkörnig).
5. Versuchsreihe: Hochglanz polierte Oberfläche.

Material:

Es kam auf der einen Seite Bayer-Phosphatzement (normalhärtend) zur Anwendung, auf der anderen Seite bestand das Prüfobjekt, dessen Oberfläche verändert wurde, aus 20karätigem Gold. Die Goldplatte G, 10 x 10 mm, 2 Lagen Plattenwachs stark, trug im Zentrum einen zur Platte senkrecht stehenden Einspannstift von 15 mm Länge. Zur Bearbeitung der Goldoberfläche wurde ein Softstein und ein Heat-less-Stein benützt, wobei diese nach je dreimaligem Über-die-Fläche-Streichen gereinigt wurden, damit die Steinoberfläche nicht durch Goldpartikelchen verschmiert werden sollte. Für die 3. Versuchsreihe wurde konzentriertes Königswasser benützt.

Die Hülsen, die auf die Goldfläche zugeführt wurden und den Zement enthielten, bestanden aus harten Kupferringen, Umfang 17 mm und gewährleisteten, daß die Prüffläche bei allen Versuchen den gleichen Flächeninhalt aufwies.

Versuchsbeschreibung:

Prüfobjekt: Das oben beschriebene Prüfobjekt wurde auf der Stirnseite bei der ersten Versuchsreihe mit dem Softsteinchen bearbeitet, indem das Steinchen immer dreimal in gleicher Richtung und unter gleichem Druck über die Fläche geführt wurde. Daraufhin wurde die Oberfläche mit einem chloroformgetränkten Wattebäuschchen gesäubert und mit einem Luftstrahl abgeblasen. Die Stellschraube fixierte das Objekt in der Bohrung von Block C. Die Goldfläche stand lotrecht zur Grundplatte A.

Zement: Auf eine im Wasserbad von 17° - 18° C liegende, angerauchte Glasplatte wurden 0,5 g Pulver und 0,18 ccm Säure aufgebracht und unter der von JÄNICKE (9) angegebenen Anrührtechnik innerhalb 1 1/2 min vermengt. JÄNICKE (9) teilte in einer Versuchsreihe die Zementmenge in 4 gleiche Teile auf, in einer weiteren in 3 Teile zu einmal 1/2 und zweimal 1/4 der Gesamtmenge. Die besten Haftwerte erhielt er bei der Teilung der Zementmenge in 4 gleiche Teile. Diese Methode lag den Versuchen dieser Arbeit zu Grunde.

Zementhaltevorrichtung: Der fertige, sahnige Zement wurde in die Kupferhülse gefüllt, die auf D durch die Einspannmanschette F festgehalten wurde. Die Hülse H wies nach D, dem Grunde zu, seitlich eine bei allen Hülsen gleich große, kleine Öffnung auf zum Abfluß überschüssigen Zementes, und auf dem Grunde, auf der Stirnseite von D, lag ein kleines Papierplättchen, um zu verhindern, daß der Zement sich mit dem Metall verbinden sollte.

Vorrichtung: War der Zement eingestrichen worden und an der Stirnseite der Hülse H ein kalottenförmiger Überschuß vorhanden, so wurde der Apparat um die Achse M in senkrechte Stellung gebracht. Dadurch glitt D durch die Bohrung in Block B hinunter, bis die Hülse H und mit ihr der Zement auf die Goldprüfffläche zu liegen kamen. Die Hülse H stand lotrecht auf der Goldprüfffläche. Der Zement konnte sich nun innig mit der Goldoberfläche verbinden und zwar geschah das immer mit derselben Belastung. Die jeweilige Hülse war nämlich auf einer Absetzung kleineren Durchmessers auf der Abreißstange D bei jedem Versuch gleich tief aufgeschoben worden und wies dementsprechend immer denselben Hohlraum auf, der den Zement aufnahm. Deshalb war bei jedem Versuch die Masse des Zementes gleich und damit auch der Schweredruck des Zementes auf die Goldoberfläche.

In diesem Zustand wurde das in die Apparatur eingebrachte Prüfstück jeweils 1 Stunde bei 17° - 18° C Zimmertemperatur belassen.

Alsdann wurde die Apparatur um die Achse M wieder in die horizontale Lage zurückgekippt, wobei die Rolle R über die Tischkante ragte. Über diese Rolle führte eine Schnur von der Abreißstange D zu einem Behälter, der, nur 2 cm vom Erdboden entfernt, an einer Schnur hing.

Um nun einen kontinuierlichen Gewichtszuwachs zu erzielen, wurde durch einen dünnen Gummischlauch, dessen Öffnung kurz über dem Boden des Behälters lag, Wasser eingelassen. Durch diese Methode wurde verhindert, daß entweder durch plätscherndes Wasser oder durch Abnehmen und Zulegen von festen Gewichten Erschütterungen zu einem verfrühten Abreißen hätten führen können. Da der Behälter nur 2 cm vom Erdboden entfernt war, bestand die Gefahr nicht, daß das schwere, fallende Gefäß Wasser verlor oder die Schnur riß.

War nun der Abriß erfolgt, so wurde der Behälter samt seinem Inhalt an Wasser gewogen.

Nach jedem Versuch wurde die Manschette F gelockert, der Kupferring H mit dem erhärteten Zement abgeschoben und das Goldprüfstück G aus dem Block C gelöst, um neu bearbeitet zu werden. Die Kupferhülsen wurden bei jedem Versuch erneuert. Die geprüfte Goldoberfläche wurde in genügender Dicke abgetragen, ehe sie zu neuem Versuch bearbeitet wurde.

E I G E N E E R G E B N I S S E

Die statistische Auswertung der je 20 Versuchsergebnisse erfolgte nach den "Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik" (5), woraus folgende Formeln zu Grunde gelegt wurden:

$$\text{a) Mittelwert: } \bar{x} = \bar{x} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})$$

$$\text{b) Streuung: } s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum (x_i - \bar{x})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum (x_i - \bar{x}) \right)^2 \right]$$

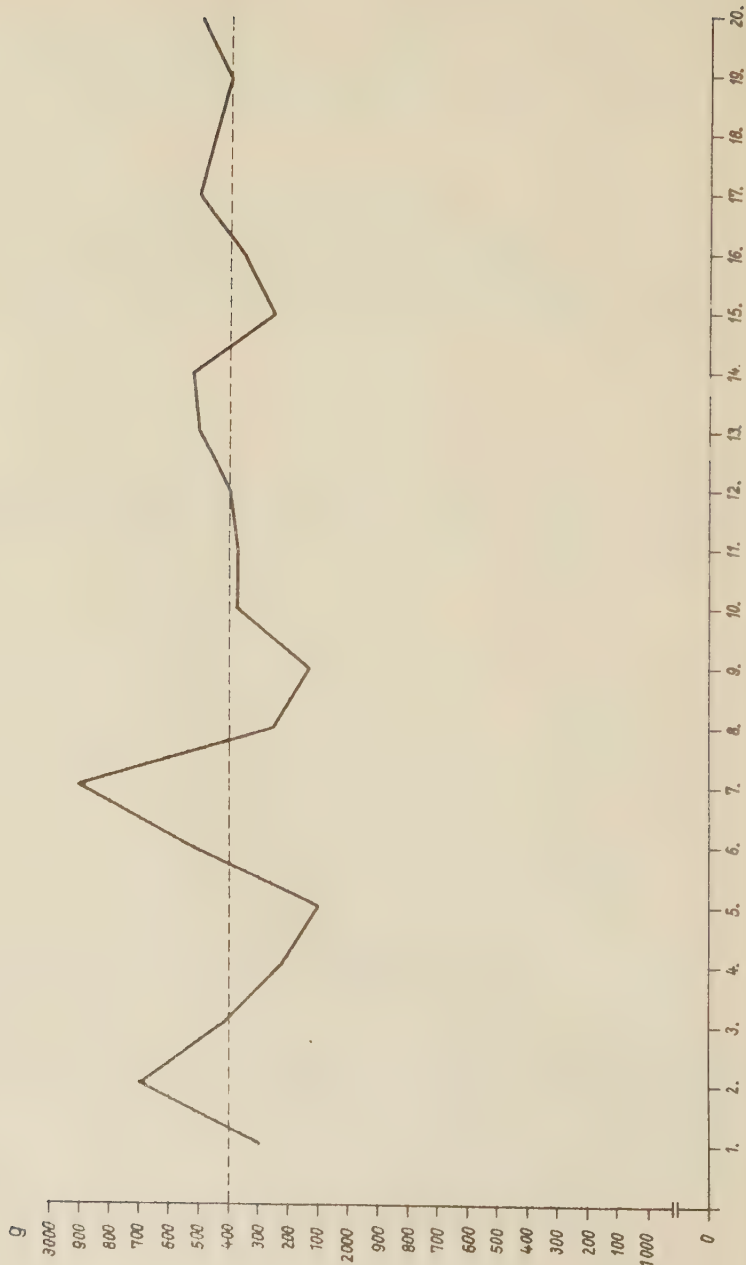
$$\text{c) Mittlere quadratische Abweichung: } s = \sqrt{s^2}$$

$$\text{d) Variationskoeffizient: } V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \%$$

Erklärung: $\bar{x}$ = angenommener Mittelwert
 x_i = Einzelwert
 N = Anzahl der Versuche

Die folgenden Werte stützen sich auf Berechnungen, die im Anhang (Seite 30) angefügt worden sind.

Abb. 2 :: Graphische Darstellung der Ergebnisse von 20 Versuchen bei
 Bearbeitung mit Softsteinchen (feinkörnig).



1. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig)

1. Versuch	=	2300 g
2. "	=	2700 g
3. "	=	2425 g
4. "	=	2225 g
5. "	=	2100 g
6. "	=	2525 g
7. "	=	2900 g
8. "	=	2250 g
9. "	=	2125 g
10. "	=	2375 g
11. "	=	2375 g
12. "	=	2400 g
13. "	=	2500 g
14. "	=	2525 g
15. "	=	2250 g
16. "	=	2350 g
17. "	=	2500 g
18. "	=	2450 g
19. "	=	2400 g
20. "	=	2500 g

a) $\bar{x} = 2400 \text{ g}$

b) $s^2 = 34.620$

c) $s = 186$

d) $V = 7,7 \%$

2. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig), Absprühen mit Wasserdruckstrahl.

1. Versuch	=	2850 g
2. "	=	2050 g
3. "	=	2325 g
4. "	=	2150 g
5. "	=	2300 g
6. "	=	2400 g
7. "	=	2650 g
8. "	=	2050 g
9. "	=	2150 g
10. "	=	2200 g
11. "	=	2550 g
12. "	=	2300 g
13. "	=	2600 g
14. "	=	2200 g
15. "	=	2350 g
16. "	=	2650 g
17. "	=	2150 g
18. "	=	2450 g
19. "	=	2700 g
20. "	=	2350 g

a) $\bar{x} = 2370 \text{ g}$

b) $s^2 = 53.110.$

c) $s = 230$

d) $V = 9,7 \%$

Abb. 3 : Graphische Darstellung der Ergebnisse von 20 Versuchen bei
Bearbeitung mit Softsteinchen (feinkörnig).

Absprühen mit Wasserdruckstrahl

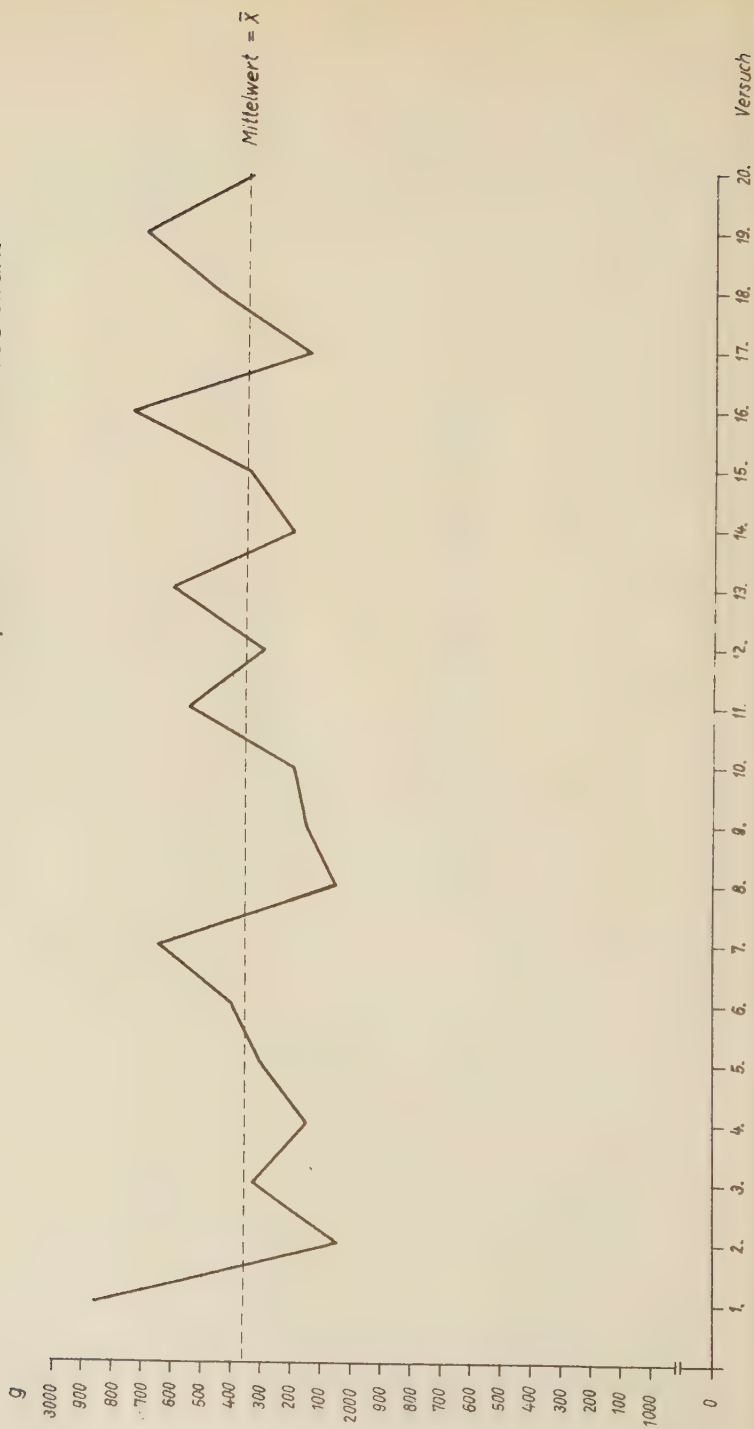
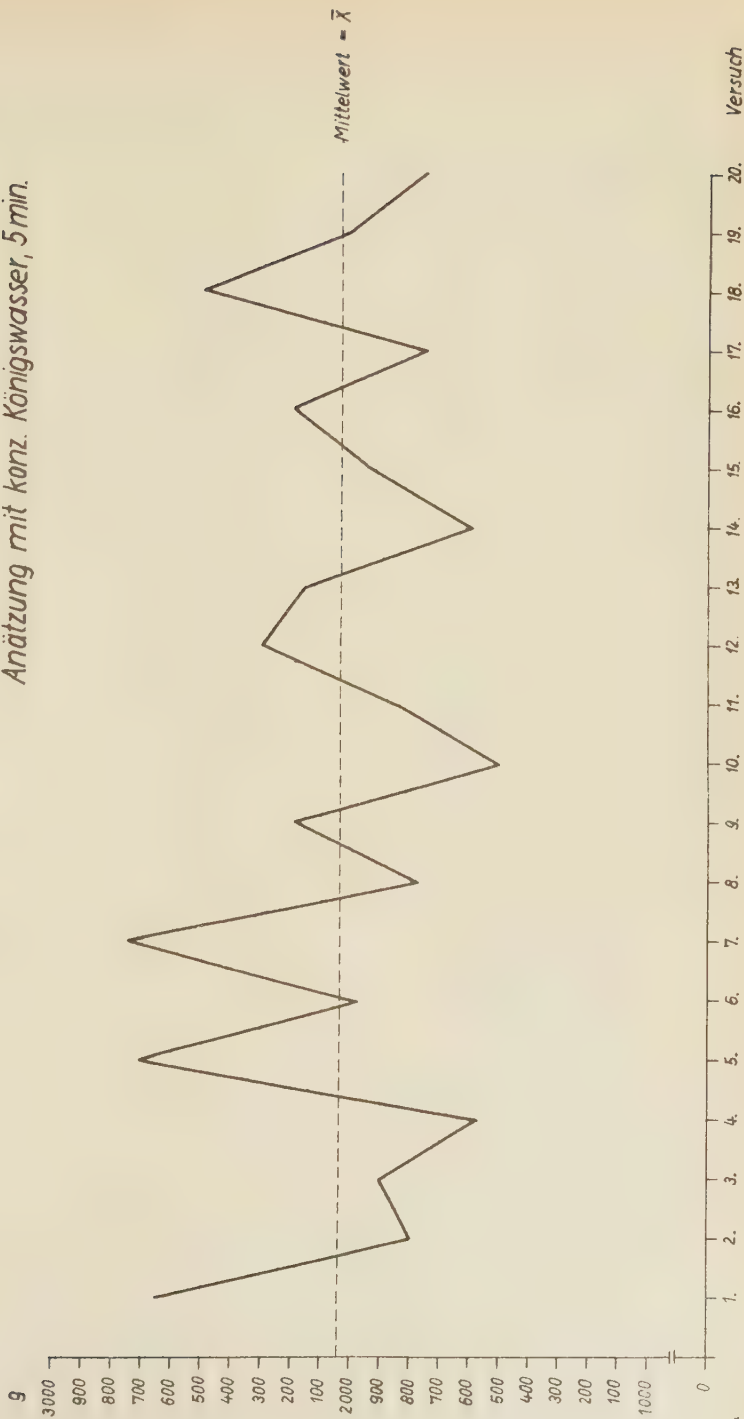


Abb. 4: Graphische Darstellung der Ergebnisse von 20 Versuchen bei
 Bearbeitung mit Softsteinchen (feinkörnig).

Anätzung mit konz. Königswasser, 5 min.



3. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig), Anätzung mit konzentriertem Königswasser, 5 min.

1. Versuch	=	2650 g
2. "	=	1800 g
3. "	=	1900 g
4. "	=	1575 g
5. "	=	2700 g
6. "	=	1925 g
7. "	=	2750 g
8. "	=	1775 g
9. "	=	2175 g
10. "	=	1500 g
11. "	=	1850 g
12. "	=	2300 g
13. "	=	2150 g
14. "	=	1600 g
15. "	=	1950 g
16. "	=	2200 g
17. "	=	1750 g
18. "	=	2500 g
19. "	=	2000 g
20. "	=	1750 g

a) $\bar{x} = 2040 \text{ g}$

b) $s^2 = 142.800$

c) $s = 378$

d) $V = 18,5 \%$

4. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Heat-less-Stein, (grobkörnig).

1. Versuch	=	1500 g
2. "	=	1350 g
3. "	=	1400 g
4. "	=	1275 g
5. "	=	1600 g
6. "	=	1350 g
7. "	=	1550 g
8. "	=	1500 g
9. "	=	1600 g
10. "	=	1700 g
11. "	=	1700 g
12. "	=	1725 g
13. "	=	1600 g
14. "	=	1500 g
15. "	=	1600 g
16. "	=	1270 g
17. "	=	1500 g
18. "	=	1525 g
19. "	=	1400 g
20. "	=	1600 g

a) $\bar{x} = 1512 \text{ g}$

b) $s^2 = 18.380$

c) $s = 136$

d) $V = 8,9 \%$

5. Versuchsreihe: Hochglanz polierte Oberfläche:

1. Versuch	=	755 g
2. "	=	700 g
3. "	=	1000 g
4. "	=	730 g
5. "	=	550 g
6. "	=	750 g
7. "	=	750 g
8. "	=	850 g
9. "	=	650 g
10. "	=	650 g
11. "	=	525 g
12. "	=	600 g
13. "	=	700 g
14. "	=	700 g
15. "	=	900 g
16. "	=	750 g
17. "	=	800 g
18. "	=	800 g
19. "	=	900 g
20 "	=	750 g

a) $\bar{x} = 730 \text{ g}$

b) $s^2 = 12.440$

c) $s = 112$

d) $V = 15,3 \%$

Abb. 5 : Graphische Darstellung der Ergebnisse von 20 Versuchen bei
Bearbeitung mit Heat - less - Stein (grobkörnig)

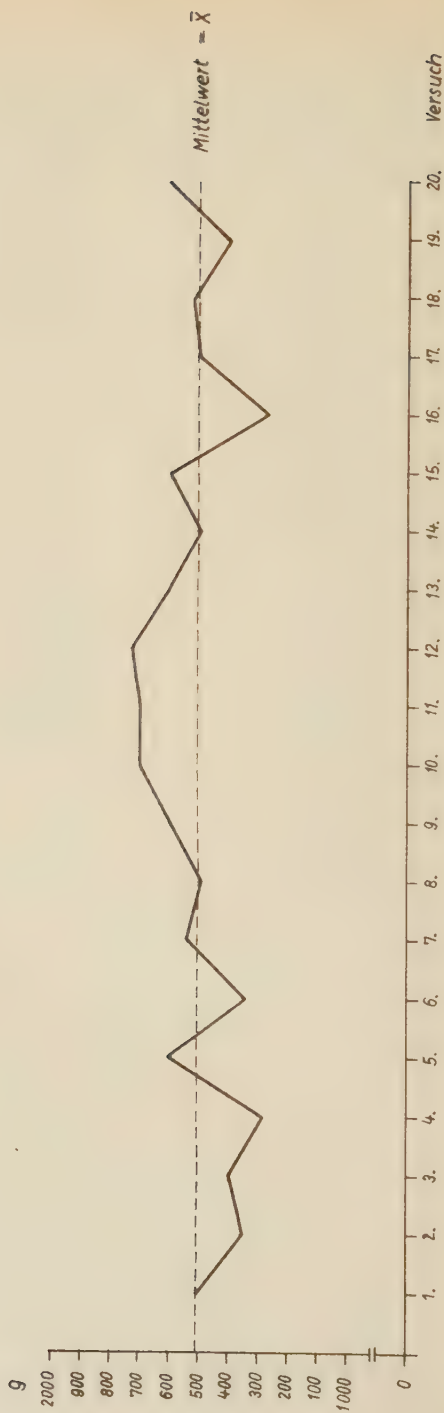
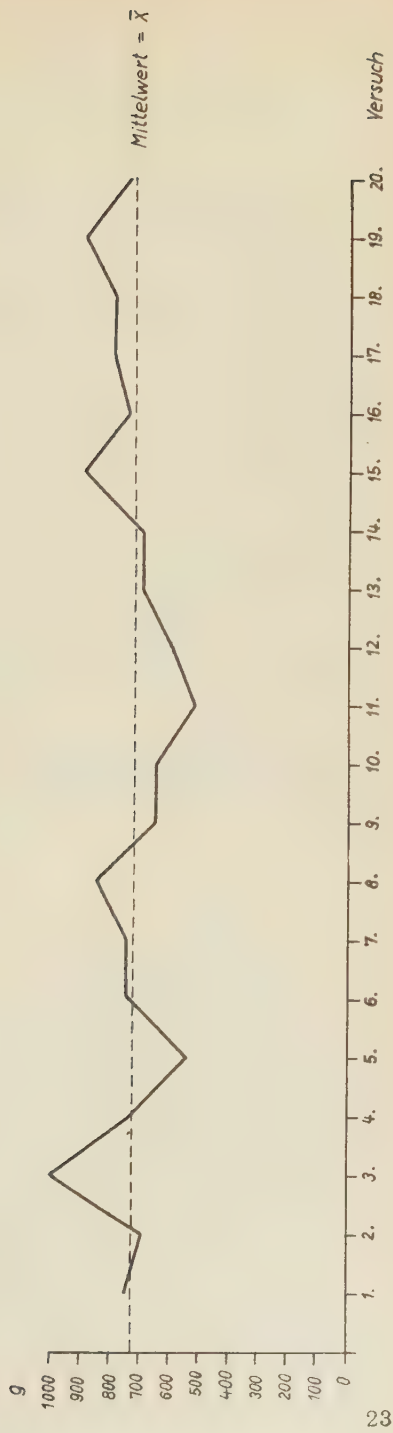


Abb. 6 : Graphische Darstellung der Ergebnisse von 20 Versuchen bei
hochglanz polierter Oberfläche.



BESPRECHUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

Versuchsreihe (siehe S. 13)	1.	2.	3.	4.	5.
a) Absolut. Mittelwert	2400 g	2370 g	2040 g	1512 g	730 g
b) Streuung	34620	53110	142800	18380	12480
c) mittl. quad. Abweichung	186	230	378	136	112
d) Variationskoeffizient	7,7 %	9,7	18,5 %	8,9 %	15,3 %

Die Versuchsergebnisse sind in der vorliegenden Tabelle zusammengefaßt.

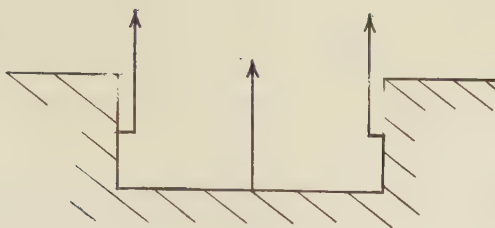
Die höchsten Haftwerte, Mittelwerte von 2400 g und 2370 g pro Flächeneinheit von 23 mm², wurden bei den ersten beiden Versuchsreihen erreicht. Alle anderen Werte der anderen Versuchsreihen lagen darunter.

Beim Vergleich von statistischer Seite her erkennt man, daß die Versuchsergebnisse der 1., 2. und 4. Versuchsreihe unter- und miteinander gut vergleichbar sind. Dagegen die der 3. und 5. Versuchsreihe beim statistischen Vergleich nicht ganz gesichert erscheinen, was die Variationskoeffizienten erkennen lassen.

D I S K U S S I O N

Um SPANNERS (16) Untersuchungen mit den von mir durchgeführten vergleichen zu können, muß erst auf ein grundlegendes mechanisches Problem hingewiesen werden. Wenn man einen Körper, z. B. ein Goldinlay aus seiner Kavität, die aus Boden- und Seitenwandflächen besteht, herausziehen will, so hat man es physikalisch gesehen mit zwei verschiedenen Kräften zu tun.

An der Bodenfläche handelt es sich um reine Zugkräfte, an den Seitenflächen um reine Abscherkräfte, d. h. einmal wirkt die Kraft senkrecht zur Haftfläche, zum anderen parallel zu ihr ein. Eine Skizze möge dies veranschaulichen:



Diese Kräfte sind, bezogen auf die gleiche Flächeneinheit, nicht dieselben. Unter diesen Voraussetzungen sind SPANNERS (16) Versuche (siehe Seite 11) folgendermaßen zu erklären: Die Mantelfläche des in den Zement eingebetteten 8 mm langen Stiftes entspricht der Seitenwand des Inlays, da wo die Abscherkräfte zur Entfaltung kommen. Die Bodenfläche eines Stiftes von 0,7 - 1,3 mm $\varnothing$, so wie sie SPANNER (16) benutzte, spielt jedoch im Verhältnis zur Mantelfläche keine Rolle. Sie entspricht der Bodenfläche des Inlays, in deren Bereich die Zugkräfte angreifen. Also hat SPANNER (16) mit seinen Versuchen die Abscherkraft des Zementes an der Oberfläche des Metalls gemessen. Meine Versuche beziehen sich dagegen nur auf die Messungen der Zugkräfte, weil ich den Zement senkrecht von der Prüffläche abriß.

Interessant ist nun, daß seine Ergebnisse zwar nicht größenmäßig mit den meinen übereinstimmen, in Beziehung zur Oberflächenbearbeitung aber dieselben Abhängigkeiten zeigen. Ich führe zum Vergleich an:

SPANNERS Ergebnisse:

glatter Draht	0,369 kg/mm ²
geätzter Draht	0,409 kg/mm ²
gerauhter Draht	0,435 kg/mm ²

Meine Ergebnisse:

hochglanzpolierte Oberfläche	0,730 kg/23 mm ²
mit Königswasser geätzte Oberfläche	2,040 kg/23 mm ²
mit Softsteinchen gerauhte Oberfläche	2,400 kg/23 mm ²

Die Flächeneinheit von 23 mm² bei meinen Versuchen, ergab sich aus dem Umfang des Kupferringes als Träger des Zinkoxydphosphatzementes. Ich rechne jedoch nicht auf 1 mm² um, weil sich die Haftintensität nicht proportional zur Haftflächen-größe verhält, so wie SPANNER (16) es mit seinen Versuchen (s. o.) bewies, als er den Durchmesser der Stifte und damit auch deren Mantelfläche als Versuchsoberfläche vergrößerte.

BÖDECKER (2) behauptete 1911, daß die Säure eine Rauhung der Oberfläche verursachen würde und dadurch der Zement einen besseren mechanischen Halt bekomme. Meiner Meinung nach, und das bestätigen die Versuche von SPANNER (16) und meine eigenen, tritt eher eine Verringerung der Rauigkeit und damit auch der Oberflächengröße ein. Ich stelle mir vor, daß die Säure die feinen, auslaufenden Zacken ätzend abrundet, beispielsweise wie ein Eiskristall durch die Wärme die bizarre Form verliert, bis er zum Schluß als Wasserkugel die kleinste Oberfläche hat.

Verblüffend ist beim Vergleich der Haftintensität zwischen fein und grob angerauhter Oberfläche, daß die höheren Werte nicht, wie man annehmen sollte, bei gröber angerauhter Oberfläche auftreten, sondern bei Feinanrauhung. Dieselben Ergebnisse konnte GUTSCHE gewinnen, der an der gleichen von mir benützten Abreißapparatur seine Untersuchungen zwischen Zinkoxydphosphatzement und Dentinoberflächenbearbeitung anstellte. Er prüfte die Haftintensität zwischen Zinkoxydphosphatzement und Dentin in Beziehung zu seiner Oberflächenbehandlung, einmal physikalisch, ein anderes Mal chemisch. Er benetzte die Dentinoberfläche mit Milchsäure, Natronlauge und Salzsäure und zwar einmal bei fein angerauhter Oberfläche, genau in derselben Art, wie ich bei meinen Versuchen. In Übereinstimmung mit meinen Ergebnissen, konnte auch er durchwegs bei feiner Anrauhung die höchsten Haftwerte gewinnen.

Nun komme ich noch auf das Argument HATTEMERS und KÜBELS (7) zurück, daß WEIKART (17) bei seinen Versuchen mit Schmirgelleinwand und Zement nur die Eigenfestigkeit des Zementes gemessen hätte, weil ja der Abriß immer nur im Material Zement liegen würde. Dieses Argument könnte man auch bei Versuchen anderer Autoren und den von mir durchgeführten einwendend zur Diskussion stellen. Es geht also um die Frage: Liegen die Abrißebenen nur immer in einem Stoff? Um den Beweis gegen eine positive Antwort dieser Frage zu führen, muß man von zwei Voraussetzungen ausgehen:

1. Bei jedem Versuch wird der gleiche Zement immer unter denselben Bedingungen verwendet. Er ist also strukturell und stofflich gleich.

2. Der zu prüfende Körper besteht bei jedem Versuch aus derselben Materie.

Würde also der Abriß nur immer in einem Stoff erfolgen, so müßten immer die gleichen Ergebnisse erzielt worden sein. Der Beweis dagegen sind die durchwegs verschiedenen Haftwerte bei den einzelnen Versuchsreihen.

ZUSAMMENFASSUNG

Um die Haftintensität des Zinkoxydphosphatzementes an der Goldoberfläche in Beziehung zu deren Oberflächenbearbeitung festzustellen, wurden 5 Versuchsreihen durchgeführt.

Bei der ersten Versuchsreihe geschah die Bearbeitung mit einem Softsteinchen (feinkörnig). Bei der zweiten wurde die Oberfläche zusätzlich mit einem Wasserdruckstrahl abgespritzt, mit der Absicht, die Rillen und Furchen im Schliff von Schleifpartikelchen zu säubern. In der dritten Versuchsreihe wurde die mit einem Softsteinchen bearbeitete Oberfläche mit konzentriertem Königswasser angeätzt, das 5 min lang einwirkte. Bei der vierten Versuchsreihe wurde die Goldoberfläche mit Hilfe eines Heat-less-Steins (grobkörnig) bearbeitet. Die fünfte Versuchsreihe schließlich verlief an hochglanzpolierten Goldoberflächen.

Es zeigte sich, daß bei der 1. und 2. Versuchsreihe, die beide mit Softsteinchen bearbeitete Goldoberflächen aufwiesen, die höchsten Haftwerte erreicht werden konnten. Es muß daher für die Praxis die Folgerung gezogen werden, die Ersatz- und Verankerungsteile an denjenigen Flächen, die mit Zinkoxydphosphatzement als Verbindungs- und Befestigungsmittel in Berührung kommen, mit Softsteinchen zu bearbeiten, um den optimalen Haftungswert zu erzielen. Zugleich sei aber darauf hingewiesen, daß die Haftintensität insbesondere zwischen Goldinlay und Zinkoxydphosphatzement von der gewissenhaften Einhaltung der allgemein geforderten Verarbeitungsregeln für Zinkoxydphosphatzement und einer exakten Kavitätenpräparation ebenso abhängig ist, wie von der Art und Weise der Haftflächenbearbeitung des Goldes, die der Gegenstand der Untersuchungen in dieser Arbeit war.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Bartram, H. und Fischer, C.-H.
Haftvermögen der schnellhärtenden Kunststoffe.
Deutsche Zeitschrift für Mund- und Kieferheilkunde
1952, Heft 5 und 6
2. Bödecker, H.
Das Metalleinlageverfahren.
Verlag Meurer, Berlin 1911
3. Drum, W.
Prüfungsvorschrift für Phosphatzement.
DZZ 1949, Heft 24
4. Falck, K.
Werkstoffkunde für Zahnärzte.
Karl Hanser Verlag, München 1948
5. Graf/Henning
Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik.
Verlag Springer, Berlin, Göttingen 1958
6. Grummt, W. jun.
Zur Frage der Haftintensität von Befestigungsmitteln
für zahnärztliche Gußarbeiten.
Med. Diss. 1958
7. Hattemer, A. und Kübel, K.
Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche
Werkstoffe.
DZZ 1950, Heft 18
8. Idolski, M.
Ist die Haftintensität des Zinkoxydphosphatzementes
auf die Bildung eines chemischen Zwischenkörpers
zurückzuführen?
Med. Diss. Greifswald 1921
9. Jänicke, K.
Die Bedeutung der Verarbeitungsweise für die Haft-
intensität des Phosphatzementes.
Med. Diss. München 1955
10. Knappwost, A.
Über die Zersetzung und die Zersetzungshemmung der
Phosphatzemente im Bereich der Mundhöhle.
DZZ 1950, Heft 18

11. Kunert, W. Neuere Untersuchungen über Phosphatzement unter besonderer Berücksichtigung der Volumenbeständigkeit und Klebekraft.
Med. Diss. Köln 1939
12. Paffenberger, C. und Caul, H. J. Dental-Zemente, Photokopie einer Übersetzung vom Jahre 1948, zur Verfügung gestellt von der Firma Bayer, Leverkusen.
13. Rawitzer, W. Allgemeine Methode zur Materialprüfung bei der Untersuchung von Zahnzementen.
DZW 1932, Heft 21
14. Rebel, H. H. Konservierende Zahnheilkunde.
Karl Hanser Verlag, München 1947
15. Ruff, H. Beitrag zur experimentellen Bestimmung der Haftintensität der Zinkoxydphosphatzemente.
Med. Diss. Berlin 1937
16. Spanner, J. Klebrigkeit und Haftfestigkeit von Zinkphosphatzementen.
DZW 1930, Heft 23
17. Weikart, P. Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe.
DZZ 1949, Heft 24
Adhäsion oder Haftintensität von Zahnzementen.
DZZ 1950, Heft 18
Zur Prüfung von Zahnzementen auf ihre Festigkeit.
DZZ 1951, Heft 1

A N H A N G

(zu Seite 15 - 23)

Genaue statistische Berechnungen an Hand der Ergebnisse aus den je 20 Versuchsreihen und der Formeln nach "Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik" (5).

Erklärung:	i	=	Versuch oder Messung
	x_i	=	Einzelwert
	$\bar{x}$	=	angenommener Mittelwert
	N	=	Anzahl der Versuche
	$\bar{x}$	=	Mittelwert
	s^2	=	Streuung
	s	=	mittlere quadratische Abweichung
	V	=	Variationskoeffizient

Statistische Auswertung:

1. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig).

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1.	2300	- 200	40000
2.	2700	+ 200	40000
3.	2425	- 75	5625
4.	2225	- 275	75630
5.	2100	- 400	160000
6.	2525	+ 25	625
7.	2900	+ 400	160000
8.	2250	- 250	62500
9.	2125	- 375	140600
10.	2375	- 125	15630
11.	2375	- 125	15630
12.	2400	- 100	10000
13.	2500	+ 0	0
14.	2525	+ 25	625
15.	2250	- 250	62500

$$\bar{x} = 2500$$

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
16.	2350	- 150	22500
17.	2500	+ 0	0
18.	2450	- 50	2500
19.	2400	- 100	10000
20.	2500	+ 0	0

$$\sum x_i = 48175$$

$$\sum x_i - \bar{x} = - 1825$$

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 824365$$

Einsetzen der Werte in die Formeln (siehe Seite 15):

$$a) \quad \bar{x} = 2500 + \frac{1}{20} \cdot (- 1825) = 2408,75$$

$$b) \quad s^2 = \frac{1}{20-1} \cdot (824365 - \frac{1}{20} \cdot (- 1825)^2) = 34622,83$$

$$c) \quad s = \sqrt{34622,83} = 186,1$$

$$d) \quad V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \% = 7,7 \%$$

2. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig),
Absprühen mit Wasserdruckstrahl.

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$\bar{x} = 2300$
1.	2850	+ 550	302500	
2.	2050	- 250	62500	
3.	2325	+ 25	625	
4.	2150	- 150	22500	
5.	2300	+ 0	0	
6.	2400	+ 100	10000	
7.	2650	+ 350	122500	
8.	2050	- 250	62500	
9.	2150	- 150	22500	
10.	2200	- 100	10000	
11.	2550	+ 250	62500	

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
12.	2300	+ 0	0
13.	2600	+ 300	90000
14.	2200	- 100	10000
15.	2350	+ 50	2500
16.	2650	+ 350	122500
17.	2150	- 150	22500
18.	2450	+ 150	22500
19.	2700	+ 400	160000
20.	2350	+ 50	2500

$$\sum x_i = 47425$$

$$\sum x_i - \bar{x} = + 1425$$

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 1110625$$

Einsetzen der Werte in die Formeln (siehe Seite 15):

$$a) \quad \bar{x} = 2300 + \frac{1}{20} \cdot 1425 = 2371,25$$

$$b) \quad s^2 = \frac{1}{20-1} \cdot (1110625 - \frac{1}{20} \cdot (1425)^2) = 53110,19$$

$$c) \quad s = \sqrt{53110,19} = 230,45$$

$$d) \quad V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \% = 9,7 \%$$

3. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Softsteinchen, (feinkörnig),
Anätzung mit konzentriertem Königswasser, 5 min.

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	
1.	2650	+ 450	202500	
2.	1800	- 400	160000	
3.	1900	- 300	90000	
4.	1575	- 625	390600	
5.	2700	+ 500	250000	
6.	1925	- 275	75630	
7.	2750	+ 550	302500	
8.	1775	- 425	180600	
9.	2175	- 25	625	
10.	1500	- 700	490000	$\bar{x} = 2200$
11.	1850	- 350	112500	
12.	2300	+ 100	10000	
13.	2150	- 50	2500	
14.	1600	- 600	360000	
15.	1950	- 250	62500	
16.	2200	+ 0	0	
17.	1750	- 450	202500	
18.	2500	+ 300	90000	
19.	2000	- 200	40000	
20.	1750	- 450	202500	

$$\begin{aligned}\sum x_i &= 40800 \\ \sum x_i - \bar{x} &= - 3200 \\ \sum (x_i - \bar{x})^2 &= 3224955\end{aligned}$$

Einsetzen der Werte in die Formeln (siehe Seite 15):

$$\begin{aligned}\text{a) } \bar{x} &= 2200 + \frac{1}{20} \cdot (- 3200) &= 2040 \\ \text{b) } s^2 &= \frac{1}{20-1} \cdot (3224955 - \frac{1}{20} \cdot (- 3200)^2) &= 142787,1 \\ \text{c) } s &= \sqrt{142787,1} &= 377,9 \\ \text{d) } V &= \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \% &= 18,5 \%\end{aligned}$$

4. Versuchsreihe: Bearbeitung mit einem Heat-less-Stein, (grobkörnig).

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1.	1500	+ 0	0
2.	1350	- 150	22500
3.	1400	- 100	10000
4.	1275	- 225	50630
5.	1600	+ 100	10000
6.	1350	- 150	22500
7.	1550	+ 50	2500
8.	1500	+ 0	0
9.	1600	+ 100	10000
10.	1700	+ 200	40000
11.	1700	+ 200	40000
12.	1725	+ 225	50630
13.	1600	+ 100	10000
14.	1500	+ 0	0
15.	1600	+ 100	10000
16.	1270	- 230	52900
17.	1500	+ 0	0
18.	1525	+ 25	625
19.	1400	- 100	10000
20.	1600	+ 100	10000

$$\bar{x} = 1500$$

$$\sum x_i = 30245$$

$$\sum x_i - \bar{x} = + 245$$

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 352285$$

Einsetzen der Werte in die Formeln (siehe Seite 15):

$$a) \quad \bar{x} = 1500 + \frac{1}{20} \cdot 245 = 1512,25$$

$$b) \quad s^2 = \frac{1}{20-1} \cdot (352285 - \frac{1}{20} \cdot (245)^2) = 18383$$

$$c) \quad s = \sqrt{18383} = 135,6$$

$$d) \quad V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \% = 8,9 \%$$

5. Versuchsreihe: Hochglanz polierte Oberfläche.

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1.	755	+ 155	24030
2.	700	+ 100	10000
3.	1000	+ 400	160000
4.	730	+ 130	16900
5.	550	- 50	2500
6.	750	+ 150	22500
7.	750	+ 150	22500
8.	850	+ 250	62500
9.	650	+ 50	2500
10.	650	+ 50	2500
11.	525	- 75	5625
12.	600	+ 0	5620
13.	700	+ 100	10000
14.	700	+ 100	10000
15.	900	+ 300	90000
16.	750	+ 150	22500
17.	800	+ 200	40000
18.	700	+ 100	10000
19.	700	+ 100	10000
20.	800	+ 200	40000

$$\bar{x} = 600$$

$$\sum x_i = 14560$$

$$\sum x_i - \bar{x} = + 2560$$

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 564055$$

Einsetzen der Werte in die Formeln (siehe Seite 15):

$$a) \quad \bar{x} = 600 + \frac{1}{20} \cdot 2560 = 728$$

$$b) \quad s^2 = \frac{1}{20-1} \cdot (564055 - \frac{1}{20} \cdot (2560)^2) = 12439,73$$

$$c) \quad s = \sqrt{12439,73} = 111,5$$

$$d) \quad V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \% = 15,3 \%$$

Ich möchte es nicht versäumen, an dieser Stelle meiner verehrten Lehrerin, Frau Professor Dr. Dr. M. SCHUG-KÖSTERS für die Überlassung dieser Arbeit zu danken.

Ebenso danke ich Herrn Privatdozenten Dr. Dr. W. KETTERL und Herrn Dr. Dr. H. SCHACH für die verständnisvolle Beratung bei der Anordnung und Durchführung der Versuche, sowie für die Durchsicht des Manuskriptes.

Herrn Ingenieur Werner DAHMS, meinem Freunde, danke ich für die Mithilfe bei der Konstruktion der Abreißapparatur.

L E B E N S L A U F

Am 19. Oktober 1932 wurde ich, Erich Wilhelm Hoppe, als Sohn des Ingenieurs Erich Kurt Hoppe und seiner Ehefrau Ragnhild Hoppe, geb. Thorbjörnsen in Hankow/China geboren.

Von 1937 bis 1940 lebte ich mit meinen Eltern in Portugal und ging dort zunächst in die portugiesische, später in die deutsche Volksschule. 1940 zogen wir nach Berlin, wo ich ebenfalls die Volksschule besuchte. Nach dem Tode meiner Mutter im Jahre 1942, zog ich nach Forst/Lausitz, 1946 nach Bückeburg (Schaumburg-Lippe) und 1949 nach Kamen/Westfalen, wo mein Vater wieder geheiratet hatte. Überall dort besuchte ich das Gymnasium. Im Jahre 1952 siedelte ich mit meinen Eltern nach München über und legte hier im Sommer 1954 die Reifeprüfung am Neuen Realgymnasium ab.

Im Wintersemester 1954/55 immatrikulierte ich mich an der Münchener Universität und erhielt hier zum 6. Juli 1959 die Approbation als Zahnarzt. Seit 1. September 1959 bin ich als Assistent bei einem Münchner Zahnarzt tätig.

